



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



“Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoché, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín”

**Tesis para obtener el título profesional de
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach. Mariela Rimarachín Mundaca

ASESOR:

Ing. Ángel Tuesta Casique

Código N° 06052114

Moyobamba – San Martín

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL




TESIS


“Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoché, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín”


PRESENTADO POR:

Bach. Mariela Rimarachín Mundaca

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 14 de setiembre del 2017.


.....
Ing. M. Sc Yrwin Francisco Azabache Liza
Presidente


.....
Ing. Gerardo Cáceres Bardález
Miembro


.....
Ing. Rubén Ruiz Valles
Secretario


.....
Ing. Ángel Tuesta Casique
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Yo, Mariela Rimarachín Mundaca, egresada de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° 46250845, con la tesis titulada **“Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoche, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín”**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 14 de setiembre del 2017.


.....
Mariela Rimarachín Mundaca
DNI N°46250845



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: <i>Rimarachin Hundaca Mariela</i>	
Código de alumno : <i>065182</i>	Teléfono: <i>955871653</i>
Correo electrónico : <i>mrmm4943@gmail.com</i>	DNI: <i>46250845</i>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: <i>Ecología</i>
Escuela Profesional de: <i>Ingeniería Ambiental</i>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(<input checked="" type="checkbox"/>)	Trabajo de investigación	(<input type="checkbox"/>)
Trabajo de suficiencia profesional	(<input type="checkbox"/>)		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: <i>Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de Eucalyptus correlliana en el sector Indoché, Distrito y provincia de Moyobamba, Región San Martín</i>
Año de publicación: <i>2017</i>

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(<input checked="" type="checkbox"/>)	Embargo	(<input type="checkbox"/>)
Acceso restringido **	(<input type="checkbox"/>)		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

03 / 08 / 2018




.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría, salud y fuerza para poder sobresalir y superarme día a día en este mundo adverso.

El presente trabajo de investigación le dedico a mi familia, quienes fueron mi fuerza en todo momento. Les dedico por su apoyo incondicional, por ser parte de este gran reto en mi vida profesional.

Les dedico a mis padres por desearme siempre lo mejor, por su apoyo y empuje constante.

Que Dios les bendiga.

Mariela

AGRADECIMIENTO

A Dios por la oportunidad que me brinda de seguir viviendo y hacer mis anhelos realidad.

A mis padres, por su paciencia, confianza, por el esmero y apoyo incondicional en los momentos difíciles de mi vida, a ellos porque siempre están allí cuando más los necesito, los cuales son la razón de mi existir.

A la Universidad Nacional de San Martín – T – Facultad de Ecología, por darme la oportunidad de formarme en sus aulas y asimilar los conocimientos para mi formación académica y profesional.

A mi asesor de tesis por apoyarme en la elaboración y asesoramiento del presente perfil le dedico esta página de mi tesis.

Mariela

INDICE

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Fundamento teórico.....	3
1.1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.1.2. Bases teóricas.....	6
1.1.3. Definición de términos.....	19
1.2. Variables.....	24
1.2.1. Dependiente.....	24
1.2.2. Independiente.....	24
1.3. Hipótesis.....	24
CAPITULO II MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.2. Diseño de investigación.....	25
2.3. Población y muestra.....	26
2.3.1. Población.....	26
2.3.2. Muestra.....	26
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
2.4.1. Técnicas.....	27
2.4.2. Materiales y quipos.....	28
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	28
CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	31
3.1. Resultados.....	31

3.1.1. Biomasa total promedio existente en el fuste, ramas y hojas del Eucalyptus torelliana.....	31
3.1.2. Determinar el contenido promedio de carbono y captura de CO ₂	33
3.1.3. Determinar las ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO ₂	36
Discusiones.....	41
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Correlación entre la biomasa aérea en diferentes compartimentos y distintas variables dasométricas del árbol</i>	31
Tabla 2: <i>Biomasa total promedio existente en el fuste, ramas y hojas del Eucalyptus torelliana, de 10 árboles muestreados</i>	32
Tabla 3: <i>Distribución del volumen por categoría diamétrica de la especie Eucalyptus torelliana expresada en m³ / hectárea</i>	33
Tabla 4: <i>Valores ajustados del volumen de la especie Eucalyptus torelliana para todo el espectro de bosque expresada en m³/ hectárea</i>	33
Tabla 5: <i>Valores ajustados de biomasa de la especie Eucalyptus torelliana para todo el espectro de bosque expresada en tms/hectarea</i>	33
Tabla 6: <i>Biomasa forestal y contenido de carbono almacenado</i>	34
Tabla 7: <i>Biomasa y contenido de carbono almacenado por t/ha</i>	34
Tabla 8: <i>Biomasa y contenido de carbono almacenado por t/ha</i>	35
Tabla 9: <i>Contenido de carbono almacenado en tC/ha.</i>	35
Tabla 10: <i>Contenido de carbono almacenado en todas las fuentes..</i>	35
Tabla 11: <i>Características de árboles muestreados</i>	37
Tabla 12: <i>Parámetros ajustados para estimar el modelo $Y=b*X^k$, para biomasa..</i>	37
Tabla 13: <i>Parámetros estimados al ajustar el modelo $\ln(Y)=\ln(b)*k \ln(X)$.</i>	38
Tabla 14: <i>Cantidad de Carbono por árbol muestreado</i>	39
Tabla 15: <i>Parámetros estimados al ajustar el modelo $Y=b*X^k$, para el contenido de carbono</i>	40
Tabla 16: <i>Valores de los parámetros para ajustar el modelo $\ln(Y)=\ln(b)*k \ln(X)$</i>	40

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Contenido de carbón almacenado	36
<i>Figura 2:</i> Dispersión de los valores observados de <i>Eucalyptus torelliano</i> y la línea de regresión generada	37
<i>Figura 3:</i> Distribución de los datos y linealización de la ecuación ajustada para biomasa	38
<i>Figura 4:</i> Distribución de los datos y linealización de la ecuación ajustada para carbono.....	40
<i>Figura 5:</i> Distribución de los datos y linealización de la ecuación ajustada para carbono.....	40

RESUMEN

El proyecto de tesis denominado “**Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoché, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín**” fue realizado para determinar la biomasa total promedio de fuste, ramas y hojas del Eucalipto, determinar el contenido promedio de carbono y captura de CO₂, y determinar la ecuación alométrica para estimar la biomasa aérea y captura de CO₂. Logrando obtener como resultado 67.96 mg/ha de biomasa en el fuste, 8.17 Mg/ha en las ramas y 8.06 Mg/ha en las hojas, haciendo un total de 28.06 Mg/ha de biomasa. El inventario de carbono que se realizó indica que se tiene 137.05 tC/ha que incluye biomasa arriba del suelo 77.6 tC/ha (Árboles y maleza), biomasa abajo del suelo 21.64 tC/ha, hojarasca 4.99 tC/ha y suelos 37.39 tC/ha y se logró determinar las ecuaciones alométricas para estimar biomasa captura de CO₂ que más se ajusta a la especie en estudio *Eucalyptus torelliana* se determinaron en el programa Excel, mediante regresión, estos modelos fueron expresados en función al DAP, teniendo un “R²” de 0.9875.

Palabras claves: Carbono, biomasa, ecuación, plantas, fuste

ABSTRACT

The thesis project entitled "Determination of allometric equations to estimate the total biomass content and carbon dioxide capture in a forest plantation of *Eucalyptus torelliana* in the Indoché sector, District and Province of Moyobamba, San Martín Region" was carried out to determine the average total biomass of the *Eucalyptus* shaft, branches and leaves, determine the average carbon content and CO₂ capture, and determine the allometric equation to estimate the aerial biomass and CO₂ capture. Results show 67.96 Mg/ha of biomass in the shaft, 8.17 Mg/ha in the branches and 8.06 Mg/ha in the leaves, making a total of 28.06 Mg/ha of biomass. The carbon inventory conducted indicates that there is 137.05 tC/ha, which includes a 77.6 tC/ha biomass above the soil (trees and weeds), a 21.64 tC/ha biomass below the soil, 4.99 tC/ha in leaf mulch and 37.39 tC/ha in soils, and it was possible to determine the allometric equations to estimate the CO₂ biomass capture that best fits the species under study. *Eucalyptus torelliana* were depicted in MS Excel, using regression models, expressed in terms of the DBH having an "R²" of 0.9875

Key words: Carbon, biomass, equation, plants, shaft



INTRODUCCIÓN

(**Palomino y Cabrera, 2008**). La quema de los combustibles fósiles, cambio de uso de la tierra, incendios forestales, etc., por las acciones naturales y humanas han producido el incremento de las concentraciones del dióxido de carbono y el aumento de la temperatura atmosférica. El cambio climático producirá impactos en la salud, la agricultura, los recursos hídricos, las zonas costeras, los humedales, entre otros, por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero

(**Fernández y Martínez 2003**). Todos los reservorios de gas CO₂ tienen un flujo continuo por lo que se han buscado o estudiado los medios para capturarlo, y reducir su existencia en la atmósfera por procesos abióticos y bióticos. Una opción para retener el dióxido de carbono atmosférico es con ayuda de las plantas que lo absorben y convierten en carbohidratos y tejidos a través del proceso de fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono.

(**Acosta 2003**). Las plantas funcionan como “sumidero” de C; estas reducen la concentración de CO₂ de la atmósfera porque lo usan para fabricar biomasa, convirtiéndose parcialmente en materia orgánica. La parte del C tiene largos periodos de residencia en compuestos orgánicos o inorgánicos da lugar al fenómeno llamado secuestro de carbono.

Existen en nuestro país pocos estudios realizados sobre la cuantificación de la biomasa y la captura de carbono, por ello es necesario contar con mecanismos que permitan determinarlos, como la determinación de la ecuación alométrica de estas especies, dado que las diferentes características fisiológicas de cada planta y condiciones físicas y climáticas, presentes en cada territorio.

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa y captura de CO₂ de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco. **Brown (1996)**, un método indirecto citado por **SCHLEGEL et al. (2001)** para estimar la biomasa, es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre variables colectadas en terreno.

El método de estimación por regresión consiste en el muestreo destructivo de unos cuantos árboles para relacionar alguna de sus variables fáciles de medir con el contenido de biomasa, utilizando para ello métodos de regresión; por ejemplo, el diámetro normal (DN, diámetro a 1,30 m). Esta técnica es conocida como de análisis dimensional o alométrica, lo cual consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (**López, 1988**).

Por lo anteriormente mencionado, esta investigación tiene como objetivo principal estimar, a través de la elaboración de ecuaciones alométricas, el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono de la especie Eucalipto Torreliana (***Eucalyptus torelliana***) en una plantación forestal en el Sector Indoche, mediante la determinación de biomasa total promedio existente en el fuste, ramas y hojas, determinación del contenido promedio de carbono y captura de CO₂.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Fundamentación teórica

1.1.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

Díaz et al. (2007) realizaron un estudio en el Ejido Mariano de Matamoros, Tlaxco, México, donde seleccionaron 25 árboles de *Pinus patula* Schl. et Cham., y se determinaron su biomasa y carbono en el estrato aéreo para ajustar el modelo $Y=b*X^k$, tomando como variable independiente (X) el diámetro (dap). En el campo se determinó el peso fresco, tanto de la muestra como del componente, las muestras se llevaron al laboratorio para ser secadas y obtener su peso seco, para después estimar la biomasa total de cada árbol, usando para ello la relación peso seco: peso fresco de las muestras. Para determinar el carbono de los diferentes componentes se tomaron muestras de cinco árboles y fueron analizadas en el laboratorio, obteniendo así 52,21% de carbono en el follaje, 49,47% en las ramas y 49,26% en el fuste, de esta forma la concentración promedio por árbol fue de 50,31%. Para estimar la biomasa se ajustó y generó la ecuación $B = 0.0357 * dap^{2.6916}$, y para estimar el carbono la ecuación ajustada fue $CC = 0.021 * DAP^{2.6451}$, con los coeficientes de determinación (R^2) para ambas de 0,98.

Acosta et al. (2001), citado por **Schlegel et al. (2001)**, determinó la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea de ecosistemas forestales y de pastizales en tres regiones de México, realizaron en el cálculo de biomasa, el ajuste de ecuaciones alométricas para cada especie. Para ello se utilizaron las variables dasométricas: diámetro normal (DN), altura y el peso seco de cada individuo. La ecuación utilizada fue $Y= aX^b$ en donde Y = biomasa en kilos, X = es el diámetro normal y a y b son los parámetros a estimar.

Antecedentes de la captura de carbono en los bosques

A nivel mundial existe la preocupación por el calentamiento de la atmósfera como consecuencia del aumento de la concentración de los GEI de origen antropogénico. El principal de estos gases, es el CO₂, el cual se ha incrementado desde 280 ppm que había durante el periodo preindustrial, hasta cerca de 360 ppm que hay en la actualidad. Los bosques naturales, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono, porque en ellos intervienen muchos de los procesos biogeoquímicos que regulan el intercambio de carbono que existe entre la atmósfera y la biomasa aérea.

Protocolo de Kyoto

A partir del protocolo de Kyoto, en la que se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de GEI para los países industrializados, se ha planteado la posibilidad de incluir los proyectos llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) como una opción para mitigar las emisiones de GEI, a través de la absorción de CO₂.

El MDL es un mecanismo del Protocolo de Kyoto (PK) basado en proyectos, que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases efecto invernadero en países en desarrollo. El artículo N° 12 del PK establece este mecanismo, mediante el cual los países industrializados pueden financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos por ello. Si bien el Protocolo de Kyoto entró en vigencia en el año 2005, el mercado del MDL ya estaba operando desde el 2002. Por esta razón, todas aquellas negociaciones de reducción de emisiones realizadas con anterioridad a la vigencia del Protocolo de Kyoto son válidas según un acuerdo entre los países signatarios dado en el año 2001 (**Gayoso *et al.*, 2001**).

El papel de los bosques en el cambio climático

Los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo de carbono porque almacenan grandes cantidades de este elemento en la vegetación y en el suelo, intercambian carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la

respiración, son fuentes de carbonos atmosféricos cuando son perturbados por causas humanas o naturales (incendios, deforestación, etc.) y se convierten en sumideros durante el abandono de las tierras y su regeneración tras la perturbación, además pueden ser ordenados para alterar su papel en el ciclo global del carbono (**Lopera y Gutiérrez, 2000**).

Las actividades humanas tales como el uso de combustible fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero GEI como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), clorofluorcarbonados, óxidos de nitrógeno y metano (CH_4), principalmente, siendo el CO_2 uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite. La vegetación forestal tiene la capacidad de asimilar a través del proceso de fotosíntesis el carbono y mantenerlo almacenado por largos periodos (**Benjamín y Masera, 2001**).

Proyectos forestales

Existen 3 razones fundamentales para considerar a los proyectos forestales en la mitigación del cambio climático. Por el proceso de fotosíntesis las plantas capturan CO_2 de la atmósfera y lo fijan en sus células como carbono, siendo este alrededor del 50% de su biomasa seca.

Por una ventaja económica frente a los procesos de mejoras tecnológicas y otros mecanismos mucho más costosos, con valores cinco veces superiores a lo que significa un proceso hecho a través de los bosques; y por la contribución potencial de preservar los bosques (**Gayoso et al., 2001**).

Los bosques y el carbono

Hoy se mira a los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio climático, particularmente el dióxido de carbono (CO_2), el gas con mayor participación y que se fija a través del proceso de fotosíntesis. Así, para contrarrestar las emisiones de carbono, un número creciente de empresas y agencias de diferentes

países están considerando planes para establecer plantaciones y preservar bosques naturales (Schlegel *et al.*, 2001).

A nivel nacional

Catpo (2000) realizó un estudio de investigación para cuantificar carbono acumulado en una plantación de *Pinus patula* existente en Cajamarca, llamada Cerro Campanario ubicada a 40 km al NO de la ciudad. Donde establecieron 31 parcelas, que tuvieron árboles de 17 y 19 años de edad, de los cuales tomaron 31 individuos para ensayos destructivos para hallar la biomasa arbórea existente, determinando la biomasa arbórea existente. Con los datos calculados construyó la ecuación final de biomasa que tuvo como variable independiente al DAP, como dependiente a la biomasa, quedando la ecuación expresado como $CCBATP_p = 7.98e^{9.07dap}$, permitiendo estimar montos de carbono para otras plantaciones de *Pinus patula*, dentro de Porcón y plantaciones en otros lugares del Perú, con similares características climáticas, fisiográficas y edáficas.

1.1.2. Bases teóricas

El cambio climático global, es uno de los problemas ecológicos más severos, que se propician por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este fenómeno tendría repercusiones particularmente graves para los ecosistemas naturales, coadyuvando a la pérdida y degradación de la riqueza biótica del planeta, la erosión de suelos, cambios en los patrones de evapotranspiración, contaminación de mantos acuíferos y otros fenómenos.

Venegas (2003) indica que, los gases que provocan cambios en el clima, son los mismos que actúan como gases de efecto invernadero (GEI) siendo la razón de preocupación de muchos países debido a los problemas que producen, por tal motivo se han llevado a cabo una serie de acuerdos y convenciones en distintos países, con el objetivo de buscar soluciones conjuntas al problema.

Se ha determinado que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal GEI, siendo

los factores más importantes la producción de combustibles fósiles, en segundo lugar, el cambio en el uso del suelo y en tercer lugar los procesos de la industria del cemento. La deforestación y la degradación del recurso forestal han sido muy importantes en las últimas décadas. La tasa de desforestación, no se conoce con precisión y las estimaciones oscilan entre 370 y 670 mil ha año⁻¹ para principios de los 90's en bosques templados y selvas.

Masera *et al.* (1997) afirman que probablemente la tasa alta sea la correcta. De acuerdo con esta última estimación se tiene que para los bosques templados la tasa de desforestación es de 1% y para las selvas un 2% al año. Las causas que más impacto tienen en la desforestación son el cambio en el uso del suelo, conversión a praderas y a cultivos agrícolas, así como los incendios forestales y la tala irracional. Los bosques tienen la posibilidad de mitigar los GEI por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros, a pesar de ser, actualmente, fuentes netas de emisión de GEI. En efecto, la vegetación asimila dióxido de carbono atmosférico, por medio del proceso fotosintético. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida.

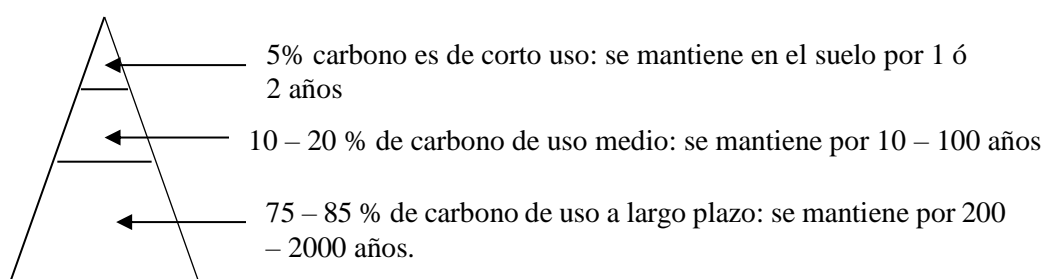
Una forma de mitigar los problemas de CO₂ además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO₂, sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad.

Los bosques densos y aquellos que no han sufrido perturbaciones, tienen mayor capacidad para almacenar carbono que los bosques abiertos y de zonas arboladas, así como los bosques degradados. Por otra parte, los bosques húmedos y bosques maduros almacenan más carbono que los bosques de zonas áridas o semiáridas y los bosques jóvenes. Los bosques del mundo capturan y

conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie de la tierra.

Pineda, Ortiz y Sánchez (2005) indican que, los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO_2 entre la biosfera y la atmósfera. Estos ecosistemas funcionan como sumideros si capturan CO_2 y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de CO si es liberado a la atmósfera a través de su quema. Cuando intervenimos en un bosque (cortando árboles, plantación o agricultura) cambiamos la proporción del carbono en el suelo. Revertimos la pirámide. En un suelo así: 75 % se cambian a carbono de corto uso y solamente el 5% del carbono se mantienen por un largo plazo.

De Acuerdo a **Senayake y Gamboa (2003)**, un suelo de buena calidad contiene:



El carbono es un hecho viviente en nuestro sistema, y consecuentemente una parte viviente de la biosfera, el ciclo del carbono rota en alrededor de 10 mil años. Este ciclo consiste en que los árboles crecen, fijan el carbono, luego mueren y el carbono vuelve a la atmósfera. En la amazonia al cortar los árboles estamos liberando carbono a la atmósfera y si plantamos la misma cantidad vamos a fijar la misma cantidad de carbono.

Las plantas a través de las hojas toman el CO_2 y luz solar, produciendo azúcares sólidos. Cuando la materia muere, estos azúcares se descomponen. En el proceso la materia se oxida liberando CO_2 , o sea los azúcares sólidos se cambian a CO_2 . Esta oxidación sale a la atmósfera constituyendo el ciclo del carbono.

De Petre *et al.* (2002) menciona que, en el suelo el carbono está almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1400 Gt ($1\text{Gt} = 10^{15}\text{ g}$), casi el doble del que hay en la atmósfera.

El carbono en el suelo necesita ser medido hasta una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores. Los contenidos de carbono en el suelo dependen de factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por cambios en el uso y manejo de la tierra (IPCC, 1996).

Jandl (2003) reporta que, los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces la cantidad de carbono que la vegetación. Por eso merecen atención cuando se buscan mecanismos del secuestro de carbono. Aumentar el nivel de C en el suelo podría ser un servicio ambiental precioso. El carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, y el “carbono negro”. En promedio, las moléculas orgánicas son mineralizadas en cuatro años; una parte de ellas es extremadamente recalcitrante y su tasa de mineralización es baja. La edad de esta fracción de la materia orgánica, ligada a óxidos y arcillas, es de algunos cientos a miles de años. Es necesario entender los procesos claves en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes (particularmente nitrógenos).

Almacenamiento de carbono

FAO (1999) menciona que los bosques desempeñan una función importante en la moderación del flujo neto de gas de efecto invernadero (GEI) entre la tierra y la atmósfera. Los bosques actúan como depósitos, almacenando carbono en la biomasa y los suelos. Actúan como sumideros de carbono cuando se aumenta su superficie o su productividad, dando origen a un incremento de la absorción de CO_2 atmosférico. Por el contrario, actúan como fuente de GEI cuando la quema y la descomposición de la biomasa y las alteraciones del suelo dan origen a emisiones de CO_2 y otros GEI. En la actualidad, el 20 por ciento

aproximadamente de las emisiones antropógenos mundiales de CO₂ se deben a cambios en el uso de la tierra (y sobre todo a la deforestación que tiene lugar principalmente en las zonas tropicales).

Jandl (2001) menciona que, los árboles caducifolios son más estables en comparación a las coníferas, además que poseen una madera más densa y por eso almacenan más carbono. Sin embargo la tasa de crecimiento es más lenta. El crecimiento menor se compensa con la producción de biomasa total. Como efecto complementario, existe una mayor seguridad, por la permanencia del sumidero de carbono.

Gayoso (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempre verdes adultos, donde el carbono total alcanza 606,80 MgC/ha, con la siguiente distribución: 283,75 MgC/ha en la biomasa aérea; 79,92 MgC/ha en raíces (diámetro >5 mm); 2,79 MgC/ha en el sotobosque; 53,56 MgC/ha en la necromasa; 5,87 MgC/ha en la hojarasca; y 180,91 MgC/ha en los primeros 30 cm de suelo. El carbono acumulado en los suelos supera en todos los casos estudiados 140 MgC/ha tomado en cuenta que se consideraron los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo ya que aunque se encuentra materia orgánica hasta los 120 cm se estima que los cambios que se puedan producir más allá de los 30 cm no son significativos.

Gayoso (2006). Los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén del carbono en estos ecosistemas y tiene una gran capacidad de "secuestrar" C ya que puede acumularlo por miles de años.

Dado este entendimiento, es posible manejar los bosques de manera que fijen y conserven sosteniblemente carbono en el suelo, pero no solo estos son capaces de capturar carbono.

En nuestro medio, en el cual ha habido ya una elevada intervención humana en los bosques, cuyas áreas vienen siendo utilizadas actualmente para diversos cultivos, resulta interesante evaluar los niveles de fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cultivo para conocer su grado de eficiencia y poder valorar mejor su contribución no solo en la producción de alimentos, sino también como agente activo para disminuir los niveles de carbono en la atmosfera, actuando benigneamente a favor de la conservación ambiental.

Uno de éstos y que viene actualmente incrementándose, sin lugar a dudas es el café, cuya tendencia al manejo orgánico, estimula más que nunca a los productores a buscar el mayor grado de armonía con la naturaleza, hecho favorable para que estos puedan desempeñar cada vez más una labor importante en la captura y almacenamiento del carbono atmosférico.

Descripción general de la especie

Descripción taxonómica

F. Muell. clasifica a la especie *Eucalyptus torelliana*, de la siguiente manera:

Familia	: Myrtaceae
Género	: <i>Eucalyptus</i>
N. científico	: <i>Eucalyptus Torelliana</i>
Nombres comunes en el Perú	: Eucalipto.
Nombre comercial internacional: Bluegum, Eucaliptus, Ocalito	

Descripción botánica

Árbol siempre verde que puede alcanzar 20-30 m de altura, con la corteza oscura y subfibrosa en la parte inferior y lisa, verdosa y brillante en la parte superior. Copa algo irregular. Hojas juveniles alternas, pecioladas, peltadas, anchamente

ovadas, de 12-22 x 8-14 cm, verdes, discoloras. Hojas intermedias alternas, pecioladas, de ovadas a anchamente lanceoladas, de 9-16 x 3,5-6,5 cm, ligeramente pelosas tornándose pronto glabras, verdes, ligeramente discoloras. Hojas adultas alternas, pecioladas, de anchamente lanceoladas a lanceoladas, de 10-14 x 2-3,5 cm, glabras, verdes, algo discoloras. Muchos de los árboles solo tienen hojas en estado juvenil o intermedio, presentando una copa solo de hojas anchas (fotografía). Inflorescencias en largas panículas terminales, con grupos de 7 flores blancas sobre un pedúnculo redondeado, de 0,5-2 cm de largo; yemas ovoides, de 8-9 mm de largo, con un opérculo hemisférico - apiculado. Florece en mayo. Fruto en cápsula globular-urceolada, de 1-1,4 cm de largo, con 3 valvas pequeñas; semillas elípticas, marrón-rojizas.

Distribución geográfica

Lugar de Origen Australia (norte de Queensland), actualmente se encuentran distribuidos por gran parte del mundo y debido a su rápido crecimiento frecuentemente se emplean en plantaciones forestales para la industria papeler, maderera o para la obtención de productos químicos, además de su valor ornamental.

Fenología

Es una especie heliófita que requiere plena exposición para un crecimiento satisfactorio. En el área de distribución natural se le encuentra en zonas desde 200 a 1.250 mm de precipitación. La especie puede crecer bien en zonas de precipitación menores a 400 mm, si cuenta con inundaciones estacionales o una napa freática alta. El mínimo de precipitación para plantaciones comerciales es de 400 mm. No obstante, se ha desarrollado bien en regiones con menos de 300 mm de lluvia al año y sin inundaciones.

La madera y sus usos

La madera es moderadamente densa (0,6 g/cm). Se le utiliza para construcción en general, ya que el duramen rojizo es moderadamente fuerte, duradero y resistente a termitas. Se emplea principalmente en la fabricación de postes, durmientes, tableros, interiores, para pisos, encofrados y algunas veces para la

fabricación de pulpa y papel.

Tiene un gran potencial como leña. Cuando la madera está completamente seca constituye un combustible excelente. Tiene un poder calórico de aproximadamente 20.000 KJ/kg (4.800 kcal/kg). Produce carbón de excelente calidad. Una de las limitaciones de la madera de esta especie es que quema en forma rápida y produce humo.

Es un árbol muy útil para la plantación a lo largo de carreteras, en los sistemas de avenamiento de las tierras pantanosas, en los bosques de fincas agrícolas. Resiste bien los vientos, por lo que se le emplea en la formación de cortinas rompevientos, asociados con otras especies de porte bajo, para control de erosión. Debido a su rápido desarrollo y plasticidad se le utiliza en plantaciones comerciales de corta rotación y además para fines ornamentales.

Biomasa forestal

La biomasa se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco masa o volumen (**Gayoso *et al.*, 2002**).

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo (**Schlegel *et al.*, 2001**), los estudios de biomasa forestal son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que entregan la distribución de la materia orgánica en el sistema y permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio con el ecosistema (**Gayoso *et al.*, 2002**).

El carbono se acumula en los árboles, en la vegetación arbustiva y en la vegetación herbácea; en la biomasa bajo el suelo (raíces); en el mantillo (capa de material orgánico sobre el suelo); en la necromasa (todo el material muerto de ecosistema) y en el suelo, considerado éste, hasta una profundidad de 30 cm (**Schlegel *et al.*, 2001**).

Determinación de la biomasa

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes. Esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono capturados por los bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, que liberan una gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera (Schlegel *et al.*, 2001).

Métodos para la determinación de biomasa

La estimación de la biomasa es una operación que implica mucho tiempo, la información acerca de la biomasa radical de árboles es difícil de obtener por su alto costo y la precisión es pobre comparada con la información de la biomasa aérea.

Parde (1980), citado por Gayoso y Schlegel (2001), describen gran parte de los métodos utilizados en los estudios de biomasa, entre las cuales destacan:

Método de cosecha

El método de la cosecha es una técnica directa, que se basa en la cosecha del material vegetal y posterior evaluación de su peso o volumen. El inconveniente que presenta es alto costo en tiempo y recursos. Este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que consiste en tumbar y pesar árboles de cada una las muestras, determinándose posteriormente su peso seco. Adicionalmente el método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y variables del rodal de fácil medición como la edad, área basal, alturas dominantes y otras.

Método del árbol medio

Este método es una de las técnicas indirectas, que asume que el árbol de dimensiones medias del rodal también posee la biomasa media. Consiste en que una vez conocido el peso seco del árbol medio, los resultados son extrapolados al rodal completo multiplicando dicho peso por el número total de árboles. El árbol muestreado pertenece, por lo tanto, a la clase para el parámetro predictor

escogido. Su mayor inconveniente es la posibilidad de encontrar un árbol medio en todas las variables morfológicas. Este sirve más bien, para evaluar la biomasa dentro del árbol y para estimar su producción anual. La mayor aplicabilidad de este método es en plantaciones, debido a que los árboles poseen relativa uniformidad de tamaños y edades.

Modelos para estimación de la biomasa

Los modelos tienen por objeto explicar las relaciones matemáticas existentes entre los atributos y dimensiones del árbol y el peso seco de sus componentes.

Prado *et al.* (1987), citado por Garcinuño (1995), señalan que lo ideal para realizar análisis de regresión es tener una muestra promedio con 30 o más individuos. Para determinar la biomasa es muy frecuente el uso de funciones alométricas cuando se ha obtenido el peso por componente o árbol total el cual se relaciona con algunas variables de estado del árbol de simple determinación. Estas funciones tienen mucha aplicación en el campo forestal, por cuanto presentan gran flexibilidad en su uso, siendo las variables más usadas el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón (Dat), altura total (Ht) y diferentes combinaciones de ellas.

Prado *et al.* (1987), citado por Garcinuño (1995) mencionan una gran cantidad de estudios que utilizan la forma del modelo siguiente:

$$Y = a * X^b \text{ ecuación (1)}$$

Donde

Y = variable dependiente;

X = variable independiente;

a, b = parámetros de la función.

Gayoso *et al.* (2002) afirman que la preferencia por este modelo se debe a que expresa una proporcionalidad de los incrementos relativos entre dos componentes del árbol, y además es ampliamente consistente para distintas formas de crecimiento.

Y su expresión lineal doble logarítmica

$$\text{LN } Y = a + b * \text{LN } X \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde

Y = variable dependiente;

X = variable independiente;

a, b = parámetros de la función.

En la ecuación (2) una gran variedad de relaciones dimensionales es reducidas a una línea recta ajustada por la ecuación doble logarítmica; además son ampliamente consistentes para distintas formas de crecimiento (**Schlegel *et al.*, 2001**).

Secuestro de carbono.

El secuestro de carbono tanto en plantaciones como en bosque natural juega un gran papel para contrarrestar el problema del calentamiento global de la tierra; a medida que los bosques aumentan el almacenamiento de carbono, éste es cada vez menor en la atmósfera, por lo tanto los cambios climáticos disminuyen.

Los bosques tienen cuatro funciones principales en el cambio climático, como fuente de dióxido de carbono cuando se destruyen o degradan, como indicador de un cambio climático, como fuente de biocombustible y como sumidero de carbono cuando se explotan de forma sostenible. Por ello la conservación y expansión de los bosques naturales adultos o de los bosques artificiales son consideradas como una propuesta muy importante para la reducción del nivel de CO₂ en la atmósfera debido a su función como sumideros de gases de efecto invernadero (**Dixon, 1993**).

Absorción del carbono

El potencial de absorción de carbono mediante actividades de forestación/reforestación depende de la especie, el lugar y el sistema de ordenación es muy variable. Los índices normales de absorción, expresados en toneladas de carbono (tC) por hectárea y año, en el trópico es de 3,2 a 10 tC.

Los estudios realizados en los trópicos indican que sería posible absorber un volumen adicional de carbono, que se cifra en 11,5 a 28,7 Gt de carbono mediante la regeneración de unos 217 millones de ha de tierras degradadas.

Tal vez únicamente un tercio de la tierra ecológicamente adecuada podrá destinarse a actividades de forestación/reforestación. En esta hipótesis, las actividades agroforestales y de forestación/reforestación absorberían alrededor de 0,25 Gt por año, cifra a la que se añadirían 0,13 Gt anuales gracias a la restauración de tierras degradadas (**Brown, 1996**).

Las actividades silvícolas que aumentan la productividad de los ecosistemas forestales, como los aclareos realizados en el momento adecuado, pueden incrementar en cierta medida el almacenamiento de carbono en los bosques.

Sin embargo, los efectos de los distintos sistemas silvícolas en la absorción total de carbono son mucho menores que las actividades de forestación y reforestación (**Dixon, 1993**).

Conservación del carbono

Si bien el medio más eficaz para reducir las concentraciones atmosféricas de CO₂ es la reducción de emisiones a partir de la combustión de productos fósiles, en relación con el uso de la tierra y la silvicultura, la conservación de los niveles actuales de carbono de los bosques ofrece desde el punto de vista técnico las mayores posibilidades para una atenuación rápida del cambio climático.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las emisiones de carbono debidas a la deforestación se producen en un plazo de unos pocos años después de que se han talado los bosques, la reducción de la tasa de deforestación tendrá un efecto más inmediato sobre los niveles globales de CO₂ atmosférico que las actividades de forestación/reforestación, que pueden suponer la eliminación de la atmósfera de un volumen similar de carbono, pero en un período mucho más prolongado.

El potencial de conservación del carbono a través del mantenimiento de la cubierta forestal depende del escenario de referencia para la deforestación sin que se tome medida alguna. En principio, si se frenara por completo el fenómeno de la deforestación se podrían conservar de 1,2 a 2,2 Gt de carbono anuales (**Dixon, 1993**). Sin embargo, si bien es cierto que los ingresos relacionados con el carbono podrían suponer una mejora económica de las tierras forestales, los proyectos que se ejecuten deberán afrontar también las causas subyacentes de la deforestación y los problemas de la utilización insostenible para asegurar la conservación del carbono. **Brown (1996)** estima que si se redujera la deforestación en las regiones tropicales se podrían mantener de 10 a 20 Gt de carbono hasta 2 050 (de 0,2 a 0,4 Gt anuales).

Inventarios de carbono

En la estimación de carbono acumulado en los distintos ecosistemas forestales, se utilizan los inventarios de carbono, que contabilizan el carbono fijado al momento de las mediciones. Para que los inventarios puedan ser comparados entre sí y reflejen la cantidad real de carbono acumulado por el ecosistema, es importante que estas sean confiables. Es decir se basen en su estimación en principios y procedimientos aceptados de inventario, muestreos y ciencias del suelo, para reflejar la cantidad real de carbono (**Schlegel *et al.*, 2001**).

La función de los bosques en las existencias mundiales de carbono.

El carbono se acumula en los ecosistemas forestales mediante la absorción de CO₂ atmosférico y su asimilación en la biomasa. El carbono se almacena tanto en la biomasa viva (la madera en pie, las ramas, el follaje y las raíces) como en la biomasa muerta (la hojarasca, los restos de madera, la materia orgánica del suelo y los productos forestales). Cualquier actividad que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y el suelo tiene capacidad para retener o liberar carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera. En conjunto, los bosques contienen la mitad del carbono presente en la vegetación terrestre y en el suelo, estimándose su cuantía en 1 200 Gt (**Dixon, 1993**).

Los bosques boreales son el ecosistema que acumula una mayor cantidad de

carbono (el 26% del total del carbono terrestre), en tanto que los bosques tropicales y templados contienen el 20% y el 7%, respectivamente (**Dixon, 1993**). En comparación con la vegetación de otros ecosistemas terrestres, la vegetación forestal tiene una gran densidad de carbono (**IPCC, 2000**).

Estrategias en relación con el carbono

Tres son las estrategias que pueden adoptarse en relación con el carbono presente en los bosques:

- La primera consiste en aumentar la tasa de acumulación de carbono mediante la creación o ampliación de sumideros de carbono (absorción del carbono).
- La segunda radica en impedir o reducir la emisión del carbono existente en los sumideros actuales (conservación del carbono).
- La tercera estrategia supone reducir la demanda de combustibles fósiles aumentando la utilización de madera, ya sea en productos de madera duraderos (es decir, la sustitución de materiales como el acero y el cemento con un alto consumo de energía) o como combustibles (sustitución del carbono).

Estas estrategias pueden ser complementarias. Existen ya varias iniciativas encaminadas a la absorción y conservación del carbono, como las actividades realizadas conjuntamente que se desarrollan en el marco de los proyectos sobre el carbono relacionados con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (**Llerena, 1991**).

1.1.3. Definición de términos. En la investigación se nombrarán constantemente los siguientes términos:

- **Agricultura ecológica.** Agricultura que se practica procurando respetar el medio ambiente mediante el empleo de métodos de abonado natural, evitando el uso de pesticidas y abonos de síntesis y que tiende al uso racional de los recursos naturales (agua, suelo y patrimonio genético).
- **Altura.** Distancia vertical de un cuerpo respecto a la tierra o a cualquier otra superficie tomada como referencia.

- **Biomasa.** Refiere al conjunto de toda la materia orgánica cuantitativo de la masa total de origen vegetal o animal, que incluye los materiales que proceden de la transformación natural o artificial.

La biomasa se puede cuantificar de forma directa e indirecta. La forma indirecta implica recolectar datos a campo y en inventarios para su posterior utilización en ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión. La forma directa, consiste en el apeo y pesado del árbol y determinar el peso seco **Brown (1997)**, citado por **Schlegel et al. (2001)**.

- **Bonos de carbono.** Son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).
- **Calidad ambiental.** Características cualitativas y cuantitativas de algún factor ambiental o del ambiente en general y que son susceptibles de ser modificados.
- **Calidad de vida.** Grado de satisfacción de las necesidades de las personas o de los grupos sociales.
- **Cambio climático.** Fenómeno ambiental cuyo efecto principal es el recalentamiento de la superficie terrestre y sus causas se relacionan con actividades humanas que están alterando la composición de la atmosfera al aumentar la concentración de los gases que producen el efecto invernadero.
- **Captura de carbono.** Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis.
Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono producto de sus procesos metabólicos como crecimiento y desarrollo. Dado que aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, se considera como uno de los más importantes para la vida.

- **Carbono.** El carbono es un elemento químico de número atómico 6, peso atómico 12 y símbolo “C”. Es sólido a temperatura ambiente, dependiendo de las condiciones de formación, puede encontrarse en la naturaleza en distintas formas alotrópicas, carbono amorfo y cristalino en forma de grafito o diamante.
- **Ciclo.** Proceso natural en el que los elementos circulan continuamente bajo distintas formas entre distintos compartimentos del medioambiente por ejemplo; el aire, el agua, el suelo, los organismos.
Algunos ejemplos son el ciclo de carbono, del nitrógeno y del fósforo (ciclos de nutrientes) y el ciclo del agua.
- **Ciclo de carbono.** El ciclo de carbono consiste en un proceso muy complicado, cuyos elementos principales son: el carbono que está almacenado en el aire, en el agua y en el suelo en forma de un gas llamado dióxido de carbono (CO_2); las plantas toman el CO_2 del agua (plantas acuáticas), del aire o del suelo (plantas terrestres) y con la energía de la luz del sol producen alimentos (glucosa, sacarosa, almidón, celulosa, etc.), y liberan oxígeno (O_2) al aire, al agua o al suelo (fotosíntesis), las plantas juegan el rol más importante en el ciclo de carbono; los animales herbívoros se alimentan de las plantas y usan compuesto orgánicos para vivir y formar su propia materia, por el proceso de la respiración los herbívoros emiten al aire o al agua el CO_2 ; los animales carnívoros toman la materia de otros animales por la alimentación, absorben los componentes de los animales por el proceso digestivo y los descomponen en las células con ayuda de oxígeno que respiran del aire o del agua y emiten CO_2 al aire o al agua; y por último la descomposición de las plantas y de los animales al morir restituye el carbono al medio en forma de CO_2 y materias orgánicas, que son aprovechados por otras plantas para reiniciar el ciclo.
- **Contenido de humedad.** Es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo, las rocas, la cerámica o la madera medida en base a análisis volumétricos o gravimétricos. Esta propiedad se utiliza en una amplia gama de áreas científicas y técnicas y se expresa como una proporción que puede

ir de 0 (completamente seca) hasta el valor de la porosidad de los materiales en el punto de saturación.

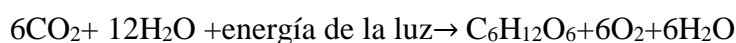
- **Curcina y diterpenas.** Son albuminas y alcaloides tóxicos para el ser humano y animales.
- **Diámetro.** Es el segmento que pasa por el centro y sus extremos son puntos de ella. Es la máxima cuerda (segmento entre dos puntos de la circunferencia) que se encuentra dentro de una circunferencia, o en un círculo. Todo diámetro divide a un círculo en dos semicírculos.
- **Dióxido de carbono (CO₂).** Gas incoloro, inodoro e incombustible que se encuentra en baja concentración en el aire que respiramos (en torno a un 0,03% en volumen).

El dióxido de carbono se genera cuando se quema cualquier sustancia que contiene carbono.

- **Ecosistema.** Es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes.
- **Ecuación alométrica.** Es la ley más sencilla del crecimiento relativo. La razón entre los crecimientos relativos de Y y X es constante. La ecuación alométrica es una fórmula aproximada, simplificada. Su principio es una expresión de interdependencia, organización y armonización de procesos fisiológicos. Con armonía de los procesos se mantiene vivo el organismo y en estado uniforme.
- **Emisión.** Una emisión contaminante resulta ser aquel residuo tóxico emanado por la actividad humana, ya sea industrial o doméstica y que por supuesto afectará severamente la calidad de vida y del medio ambiente. Las emisiones vehiculares son un ejemplo de este tipo de emisión, las mismas

contribuyen al smog en la ciudad y le provocan a la gente dificultades en la respiración.

- **Especie.** Grupo de organismos formado por poblaciones de individuos que ocupan un hábitat y que se reproducen entre sí.
- **Fotosíntesis.** La fotosíntesis es el mayor proceso productivo sobre la tierra. Es un proceso biosintético por medio del cual la planta es capaz de sintetizar materia orgánica a partir de las moléculas inorgánicas que encuentra en el medio utilizando la energía lumínica.



- **Gases de efecto invernadero.** Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero. Los más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria.
- **Gigatonelada (Gt).** Unidad de medida que representa a mil millones toneladas; una Gigatonelada de Carbono equivale a 1 peta gramo de Carbono (1PgC), que a su vez equivale a 3.67 Gt de CO₂.
- **Hábitat.** Lugar o tipo de ambiente natural en el que existen naturalmente un organismo o una población. Es decir, es la suma de condiciones físicas y biológicas en que vive un individuo o población.
- **Ambiente.** Es el entorno en el cual opera una entidad gestionada, incluyendo tanto los elementos como los seres humanos y otros sistemas bióticos, entorno en el cual opera.
- **Protección ambiental.** Cualquier actividad que mantenga o restaure la limpieza del medio ambiente a través de la prevención de la emisión de sustancias contaminantes presentes en el medioambiente.

- **Protocolo de Kyoto.** El Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.
- **Secuestro de carbono.** Es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI).
- **Variable.** Estructura de programación que contiene datos. Puede contener números o caracteres alfanuméricos y el programador le asigna un nombre único. Mantiene los datos hasta que un nuevo valor se le asigna o hasta que el programa termine.

1.2. Variables

1.2.1. Dependiente:

Variables dependientes: Biomasa y carbono

1.2.2. Independiente:

Variable Independiente: Diámetro normal (DN)

1.3. Hipótesis

Será la ecuación alométrica de Brown, la adecuada para la determinación de Biomasa y Captura de Carbono en la especie *Eucalyptus torelliana*.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

De acuerdo a la orientación: Aplicada

De acuerdo a la técnica de contrastación: Descriptiva

2.2. Diseño de investigación

Brown (1996), un método indirecto para estimar la biomasa, es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre variables colectadas en terreno. Este consiste en el muestreo destructivo de unos cuantos árboles para relacionar alguna de sus variables fáciles de medir con el contenido de biomasa, utilizando para ello métodos de regresión; por ejemplo, el diámetro normal (DN, diámetro a 1,30 m). Esta técnica es conocida como de análisis dimensional o alometría, lo cual consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (**López, 1988**)

La ecuación alométrica de Brown ha sido ampliamente utilizada en diversos estudios e investigaciones en distintas partes de mundo, lo cual teniendo en consideración la diversidad de especies cada una con sus propias características fisiológicas nos lleva a pensar que la mencionada ecuación, no se ajustaría al total de especies vegetales, existiendo el riesgo de sobrestimar o subestimar la biomasa y la capacidad de captura de carbono.

Diversas Investigaciones se han desarrollado teniendo resultados como el mencionado en el *ítem (a)* del estudio: **Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México** (*José Návar - Cháidez, Felipa de Jesús Rodríguez-Flores, Pedro Antonio Domínguez-Calleros*). El objetivo de este estudio fue desarrollar una ecuación alométrica actualizada para la biomasa aérea total (M) de árboles medidos en campo y de sitios inventariados en los bosques secos de Sinaloa, México. Los resultados mostraron que:

- (a) La ecuación alométrica desarrollada incrementó la precisión en contraste con las ecuaciones convencionales de biomasa.
- (b) La alometría desarrollada ex situ proyecta valores de M que pueden desviarse por cerca del doble de las mediciones de M.
- (c) Las evaluaciones al nivel del sitio también pueden desviarse por más del doble cuando se usan ecuaciones desarrolladas ex situ. Se probaron dos procedimientos para aumentar la precisión en la evaluación de M para árboles y sitios, cuando se ajustan ecuaciones desarrolladas ex situ: (i) con el teorema del límite central usar las ecuaciones alométricas disponibles para estimar un promedio y (ii) calibrar las ecuaciones por el ajuste de parámetros a nivel local, los cuales pueden ser calculados con el uso de programas estadísticos.

Así como este estudio realizado para selvas tropicales secas del norte de México, existen otros estudios en diversas partes del mundo con condiciones climáticas distintas y tipos de vegetación también diversa, por lo que se considera necesario realizar un estudio local para evaluar una especie - *Eucalyptus torelliana* - de amplia utilización en plantaciones forestales, lo cual permitiría conocer el valor real de la biomasa y su potencial de captura de carbono de esta especie.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La tesis será desarrollada en el Sector Indoché, del Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín.

Población : 10,000 plantas cuyas edades se encuentran entre 6 meses y 2.5 años aproximadamente.

2.3.2. Muestra

En el predio se seleccionaron 10 árboles de *Eucalyptus torelliana* tomando en cuenta el mayor número de categorías diamétricas, a través de la medición de sus Diámetros Normales.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1. Técnicas

A. Determinación de la biomasa aérea

A.1. Tamaño de la muestra y selección de árboles a tumbear

Se seleccionaron 10 individuos de *Eucalyptus torelliana*, de diferentes edades (entre 6 meses y 2.5 años), teniendo en cuenta la variabilidad entre árboles, pero no se consideraron árboles bifurcados o con enfermedades ya que carecen de una sobreestimación de biomasa.

A.2. Medición de árboles muestra

Se realizaron 2 tipos de mediciones, la primera con el árbol en pie, donde se incorporó un grupo de variables de interés para un buen uso posterior de los antecedentes como el DAP, número de árbol y la segunda una vez realizado el derribo de los árboles seleccionados.

A.3. Tumbado y pesado de los árboles muestra

Se procedió a la tumba de los árboles con la ayuda de una motosierra, al ras del suelo sin dejar el tocón, una vez derribado, su fuste fue seccionado en trozas de 1 m de longitud, las ramas fueron separadas del follaje para ser pesado de manera independiente. Las trozas se pesaron en una balanza romana de 100 kg, del mismo modo se pesaron las ramas y hojas en una balanza romana de 12 kg, obteniendo así el peso fresco total por componente del árbol.

A.4. Recolección y secado de las muestras

Se recolectaron 9 muestras por árbol, 3 muestras o rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor de la parte baja, media y alta del fuste, 3 muestras de ramas y 3 muestras de hojas, sumando 90 muestras en total, estos fueron pesados independientemente en una balanza circular de 5 kg, para luego obtener el peso fresco por muestra.

Las muestras fueron llevadas a laboratorio de Biología y Química de la Facultad de Ecología, para ser secadas a 105 °C de temperatura, hasta obtener un peso seco constante por componente del árbol.

2.4.2. Materiales y equipos.

- Cinta métrica
- Dimensionador de madera de 50x50 cm²
- GPS Garmín 12 XL
- Carta Nacional
- Zonificación ecológica y económica de la provincia de Moyobamba.
- Altimetro
- Libreta de campo
- Estufa
- Bolsas de plástico
- Plumón indeleble
- Papel Kraff
- Equipo fotográfico
- Computadora

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

A. Cálculo de la biomasa aérea total por árbol

El cálculo de biomasa de los individuos se realizó por componente de árbol, utilizando las fórmulas propuesta por **Arévalo *et al.* (2003)**:

$$B \text{ (kg)} = ((PSM / PFM) \times PFT) \times 1000$$

Bt = Biomasa

PSM = Peso Seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

PFT = Peso fresco total

$$Bt \text{ (kg/árbol)} = Bf + Br + Bh$$

Bt = Biomasa total

Bf = Biomasa del fuste

Br = Biomasa de las ramas

Bh = Biomasa de las hojas

B. Determinación del porcentaje de cenizas ISO R 1762

Para determinar el porcentaje de cenizas del fuste ramas y hojas, se procedió a desmenuzar dos muestras de cada uno, luego puestos 5 gramos de muestra en un crisol, luego fueron puestas en una cocina eléctrica para ser quemados hasta un punto que se hagan carbón, luego se colocó en la mufla hasta obtener cenizas, para después ser puesto en un desecador y ser pesados, también se colocó 5 gramos de muestra en la estufa para determinar “k”. El porcentaje de ceniza se calculó con la siguiente fórmula (GARZÓN, 1993):

$$\% \text{ de Ceniza} = \frac{\text{Masa de ceniza}}{\text{Masa inicial} \times K} \times 100$$

$$K = \frac{\text{Masa seca de la muestra}}{\text{Masa húmeda de la muestra}}$$

C. Cálculo del contenido de carbono total por árbol

Para determinar el contenido de carbono por componente de árbol, se tomó en cuenta los porcentajes de carbono promedio encontrado en la investigación realizada por DÍAZ *et al.* (2007) en *Pinus patula* Schl. *et* Cham., que fue de 49,26% para el fuste; 49,47% para las ramas y 52,21% para las hojas. El cálculo de carbono se realizó con las siguientes fórmulas:

$$CC = Bt * 0,4926; \text{ para el caso del fuste}$$

$$CC = Bt * 0,4947; \text{ para el caso de ramas}$$

$$CC = Bt * 0,5221; \text{ para el caso de hojas}$$

Donde:

CC = Contenido de Carbono

Bt = Biomasa total

D. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y captura de CO₂.

D.1. Determinación de la ecuación alométrica para estimar biomasa aérea

La ecuación alométrica para estimar la biomasa, se determinó mediante ejercicios regresionales en el programa Excel, teniendo como variable

independiente al DAP (cm) y como dependiente a la biomasa (kg), obteniendo diferentes modelos regresionales.

D.2. Determinación de la ecuación alométrica para estimar captura de CO₂.

La determinación de la ecuación alométrica para estimar captura de CO₂ que más se ajuste a esta especie se utilizó el programa Excel, donde teniendo los datos de biomasa total y captura de CO₂ por árbol, se realizó la línea de tendencia donde se obtuvo un modelo matemático, mediante regresión lineal y obteniendo un coeficiente de determinación “R²” igual a 1, este modelo fue expresado en función al DAP y la altura para obtener la ecuación alométrica, de la siguiente manera:

$$X = \text{Biomasa fuste} + \text{biomasa (ramas + hojas)}$$

Dónde:

X = Constante

$$\text{Biomasa fuste} = DB * \pi/4 \text{ dap}^2 * h^{0.65}$$

Biomasa fuste = k biomasa (ramas + hojas)

DB = Densidad básica (g/cm³)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

h = Altura (m)

K = Constante

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Biomasa total promedio existente en el fuste, ramas y hojas del *Eucalyptus torelliana*, de 10 árboles muestreados

El grado de asociación entre las cantidades y la proporción de la biomasa de los diversos compartimentos en relación al dap, dap2, dap2 *h resultó significativo. El coeficiente de correlación (r) más alto se encontró para el fuste y las ramas con el dap2 *h y el dap2 respectivamente. En el caso de las hojas las correlaciones fueron inferiores, siendo mayor el grado de asociación con el dap2, tal como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 1

Correlación entre la biomasa aérea en diferentes compartimentos y distintas variables dasométricas del árbol.

Compartimiento		DAP	DAP2 *h (volumen)	DAP2 (área basal)
cantidad (kg)	hojas	0,75*	0,68*	0,76 *
	ramas	0,87*	0,83*	0,89*
	fuste	0,94*	0,98*	0,96*
proporción (%)	hojas	-0,74*	-0,66*	-0,66*
	ramas	-0,06ns	-0,19*	-0,07ns
	fuste	0,65*	0,62*	0,58*

*: significativo; ns: no significativo.

Los coeficientes r disminuyeron notablemente al analizar las proporciones de biomasa, aunque fueron significativos en todos, a excepción de las ramas para el dap y dap2 . Los valores más altos se presentaron para las hojas, siendo la asociación negativa más importante con el dap, debido a que con el aumento en el tamaño del árbol con la edad se reduce la proporción de hojas en relación a la

biomasa total aérea (Laclau et al., 2000; Saint-André et al., 2005). En contraposición, a medida que el árbol crece se produce una mayor acumulación de biomasa en el fuste, reflejado en las asociaciones positivas con las variables en estudio. En este caso, la variable que mejor explicó las variaciones en las proporciones de hojas y fuste fue el DAP. Ninguna de las variables explicó satisfactoriamente la variación de la proporción de las ramas con el tamaño de los individuos (**Tabla 1**).

Tabla 2

Biomasa total promedio existente en el fuste, ramas y hojas del Eucalyptus torelliana, de 10 árboles muestreados.

Árbol	Fuste Mg/ha	Ramas Mg/ha	Hojas Mg/ha
1	65.5	7.4	7.2
2	66.6	7.8	9.7
3	70.5	9.4	7.5
4	69.3	8.5	9.3
5	64.5	7.1	6.9
6	68.6	9.5	8.7
7	67.9	7.6	6.7
8	70.4	8.5	9.2
9	68.5	8.7	8.9
10	67.8	7.2	6.5
TOTAL	679.6	81.7	80.6
PROMEDIO	67.96	8.17	8.06
PROMEDIO TOTAL		28.06	

En el Tabla 2, se observa que el promedio de Biomasa en el fuste es de **67.96 Mg/ha**, en las ramas con un **8.17 Mg/ha** y en las hojas es de **8.06 Mg/ha**; en consecuencia, se ha obtenido un promedio total de **28.06 Mg/ha** de Biomasa en las partes en estudio del *Eucalyptus torelliana*, siendo la muestra de 10 árboles, tal como se muestra en el cuadro anterior.

3.1.2. Determinar el contenido promedio de carbono y captura de CO₂

Biomasa Forestal – estimación de carbono almacenado.

Tabla 3

*Distribución del volumen por categoría diamétrica de la especie **Eucalyptus torelliana** expresada en m³ / hectárea*

<i>Categoría Diamétrica</i>	<i>Volumen</i>
<i>(cm)</i>	<i>m3/ha</i>
10 – 19.9	3.24
20 – 29.9	14.02
30 – 39.9	15.2
> 40	2.75
TOTAL	35.21

Tabla 4:

*Valores ajustados del volumen de la especie **Eucalyptus torelliana** para todo el espectro de bosque expresada en m³/ hectárea*

<i>Volumen</i>	<i>Volumen Ajustado</i>
<i>m3 / hectárea</i>	<i>m3 / hectárea</i>
35.21	61.34

$$V \text{ ajustado} = Vol (m^3/ha) \times FEV$$

$$FEV = e^{[1,3 - 0,209 \times \ln (Volumen)]}$$

Tabla 5:

*Valores ajustados de biomasa de la especie **Eucalyptus torelliana** para todo el espectro de bosque expresada en tms/hectarea*

<i>Biomasa</i>	<i>Biomasa Ajustada</i>
<i>ms/hectárea</i>	<i>tms/hectárea</i>
37.12	153.47

$$B = vol (m^3 /ha) \times 0,60 \text{ tdm}/m^3 = t/ha$$

$$B \text{ ajustada} = B \times FEB$$

$$\text{FEB} = e^{[3,213 - 0,506 \times \ln(\text{Biomasa})]}$$

Tabla 6:

Biomasa forestal y contenido de carbono almacenado.

<i>Biomasa</i>	<i>Carbono Estimado</i>
<i>tms/ha</i>	<i>tc/ha</i>
153.47	76.74

$$\text{C (tC/ha)} = \text{B} \times 0.5$$

Biomasa de maleza y hojarasca – estimación de carbono almacenado

Tabla 7

Biomasa y contenido de carbono almacenado por t/ha

<i>Fuente</i>	<i>Biomasa</i>	<i>Carbono</i>
	<i>t/ha</i>	<i>tC/ha</i>
<i>Maleza</i>	1.83	0.86
<i>Hojarasca</i>	9.99	3.85

$$\text{Ecuación: } y = \text{Pht} - (\text{Pht} \times \text{CH})$$

Biomasa abajo del suelo y contenido de carbono

Para determinar la biomasa abajo del suelo, que consiste en el sistema radicular de la vegetación existente es conveniente estimarla como un porcentaje de la biomasa arriba del suelo. La literatura de inventarios de carbono indica que un valor entre 10 y 15% es conservador pero que permite obtener un estimado aproximado de la biomasa en esta fuente (**MacDicken, 1997**) sin incurrir en sobreestimaciones dañinas al proyecto. Para plantaciones como el *Eucalyptus torelliana* la literatura reporta que la proporción entre la biomasa arriba del suelo y la de raíces es de aproximadamente 30%.

Tabla 8*Biomasa y contenido de carbono almacenado por t/ha*

<i>Fuente</i>	<i>Biomasa</i> <i>t/ha</i>	<i>Carbono</i> <i>tC/ha</i>
<i>Raíces</i>	<i>43.27</i>	<i>21.64</i>

Contenido de carbono en suelos**Tabla 9***Contenido de carbono almacenado en tC/ha.*

<i>Fuente</i>	<i>Carbono</i> <i>tC/ha</i>
<i>Suelo</i>	<i>37.39</i>

Se ha realizado el cálculo a través de la siguiente formula: **Carbono en suelo (tC/ha) = CC * DA *P,**

Tabla 10*Contenido de carbono almacenado en todas las fuentes.*

<i>Fuente Medida</i>	<i>Contenido De Carbono Almacenado</i> <i>(tC / HA)</i>
<i>Biomasa arriba del suelo</i>	<i>77.6</i>
- Árboles	76.74
- Maleza	0.86
<i>Biomasa abajo del suelo</i>	<i>21.64</i>
<i>Hojarasca</i>	<i>4.99</i>
<i>Suelos</i>	<i>37.39</i>
<i>TOTAL</i>	<i>137.05</i>

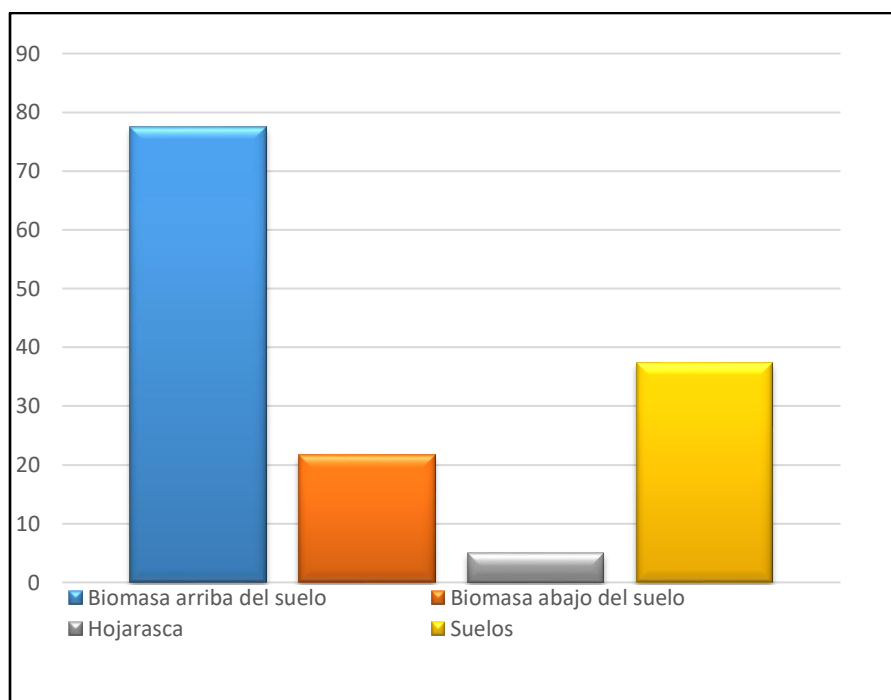


Figura 1: Contenido de carbón almacenado.

En la figura se observa que la mayor cantidad de la biomasa se ubica arriba del suelo, seguido en el suelo y el menor en la hojarasca.

3.1.3. Determinar las ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO₂.

Ecuación de biomasa para *Eucalyptus torelliana*.

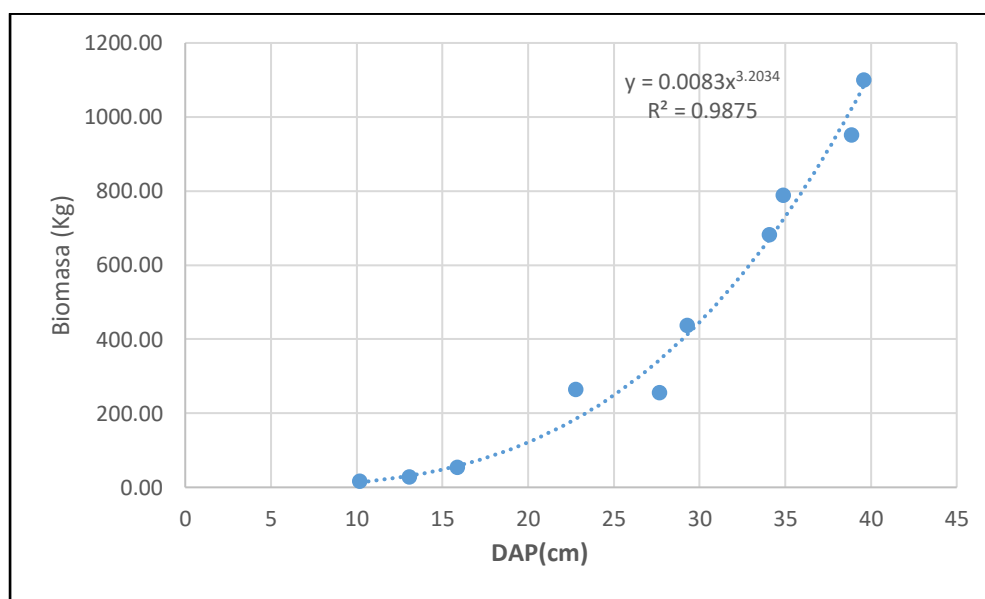
El diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles muestreados y su biomasa se encuentran en la tabla 11. Al ajustar la ecuación para determinar la biomasa en función del diámetro normal presentó un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 0.9875$). En la tabla 12 se presentan los valores de los parámetros del modelo $Y=b \cdot X^k$

Tabla 11*Características de árboles muestreados*

Árbol	DAP	CD	Altura	Peso Fresco (kg)	Biomasa (kg)	% de Humedad
1	10.2	10	6.09	45.04	15.45	65.7%
2	13.1	15	6.49	77.78	27.15	65.1%
3	15.9	15	10.79	120.26	53.40	55.6%
4	22.8	20	17.68	553.02	264.34	52.2%
5	27.7	25	18.36	548.95	255.81	53.4%
6	29.3	30	20.11	900.08	436.54	51.5%
7	34.1	35	25.12	1215.9	680.90	44.0%
8	34.9	35	26.8	1512.85	788.19	47.9%
9	38.9	40	27.05	1932.17	950.63	50.8%
10	39.6	45	27.18	2337.65	1098.70	53.0%

Tabla 12*Parámetros ajustados para estimar el modelo $Y=b*X^k$, para biomasa.*

Especie	n	b	K	R ²	R
<i>Eucalyptus torelliana</i>	10	0.0083	3.2034	0.9875	0.994

*Figura 2: Dispersión de los valores observados de *Eucalyptus torelliano* y la línea de regresión generada.*

Para hacer más sencillo el análisis de regresión del modelo $Y=b \cdot X^k$, según **Little Jackson (1976)** recomiendan linealizarlo de la siguiente manera:

$$\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$$

Los valores de los parámetros para el ajuste de este modelo ya linealizado se presentan en la tabla 13.

Tabla 13

Parámetros estimados al ajustar el modelo $\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$.

Especie	n	b	K	R ²	R
<i>Eucalyptus torelliana</i>	10	-4.7947	3.2034	0.9875	0.994

$\ln(b)$: logaritmo natural de “b”, R^2 : Coeficiente de determinación; R: Coeficiente de correlación.

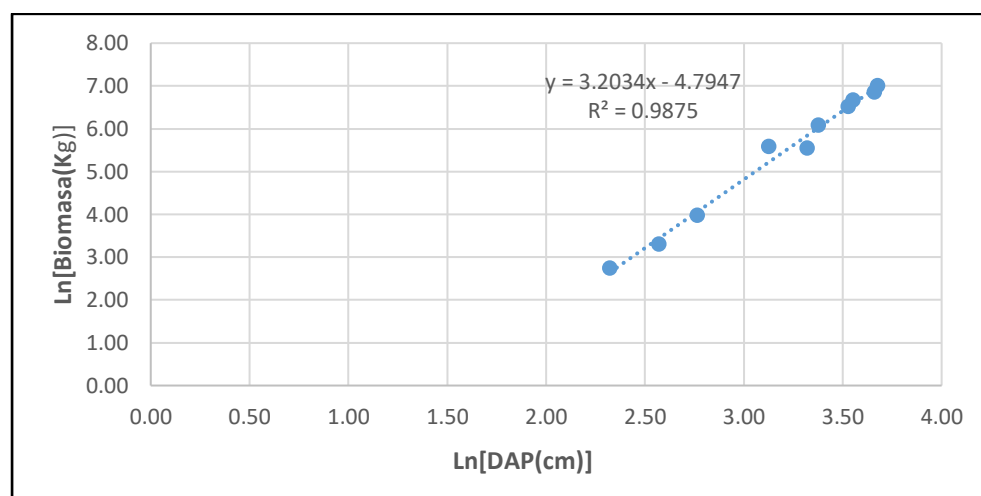


Figura 3: Distribución de los datos y linealización de la ecuación ajustada para biomasa.

Tanto el modelo original $Y=b \cdot X^k$ como el modelo linealizado, $\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$ el coeficiente de determinación fue similar, lo que significa que para estimar la biomasa en árboles de la especie de *Eucalyptus torelliana* es confiable la medición del DAP.

Las ecuaciones determinadas para estimar la biomasa de *Eucalyptus torelliana*

queda expresada con el modelo original (Ecuación 1) y con el modelo linealizado (Ecuación 2):

$$B = 0.0083 * DAP^{3.2034} \quad (1)$$

$$\ln(B) = -4.7947 + 3.2034 * \ln(DAP) \quad (2)$$

En ambas ecuaciones; B: Biomasa seca (kg)

DAP: Diámetro a Altura de Pecho (cm)

In: Logaritmo natural en base “e”

Contenido de carbono en *Eucalyptus torelliana*.

El ajuste del modelo $Y=b*X^k$ a los datos de contenido de carbono arrojó los valores de la Tabla 14 para los parámetros.

Tabla 14

Cantidad de Carbono por árbol muestreado

Árbol	DAP	CD	Carbono (Kg)
1	10.2	10	7.72
2	13.1	15	13.57
3	15.9	15	26.70
4	22.8	20	132.17
5	27.7	25	127.91
6	29.3	30	218.27
7	34.1	35	340.45
8	34.9	35	394.10
9	38.9	40	475.31
10	39.6	45	549.35

El cálculo del carbono por árbol se realizó considerando lo propuesto por **Gayoso et al. (2001)**, que manifiesta que la cantidad de carbono por árbol es: la biomasa del árbol multiplicado por el factor 0.5.

Tabla 15

Parámetros estimados al ajustar el modelo $Y=b*Xk$, para el contenido de carbono.

Especie	n	b	k	R ²	R
<i>Eucalyptus torelliana</i>	10	0.0041	3.2034	0.9875	0.994

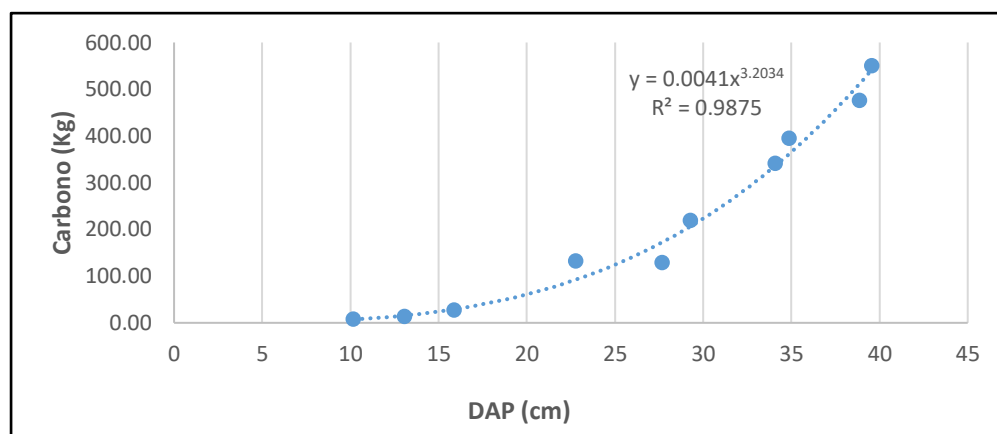


Figura 4: Distribución de los datos y linealización de la ecuación ajustada para carbono.

Para el análisis de regresión del modelo $Y=b*Xk$, que también fue linealizado y los parámetros al ajustar el modelo aparecen en el tabla N° 15.

Tabla 16

Valores de los parámetros para ajustar el modelo $\ln(Y) = \ln(b)*k \ln(X)$.

Especie	n	(ln) b	k	R ²	R
<i>Eucalyptus torelliana</i>	10	-5.4878	3.2034	0.9875	0.994

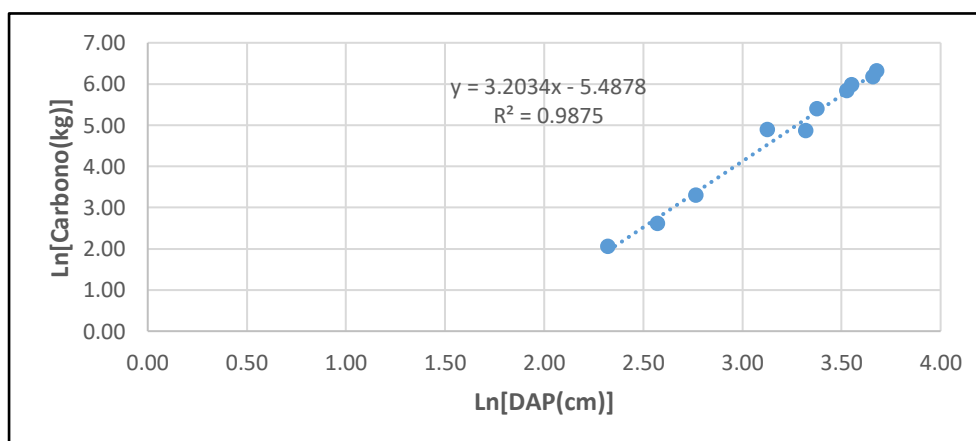


Figura 5: Distribución de los datos y linealización de la ecuación ajustada para carbono

Al igual que en el caso de estimación de biomasa, el modelo original $Y=b*X^k$, como en el modelo linealizado $\ln(Y)=\ln(b)+k\ln(X)$, el coeficiente de determinación es de 0.9875, el resultado de la prueba es significativa y de igual forma el DAP es una variable de confianza alta para determinar el contenido de carbono en árboles de la especie *Eucalyptus torelliana*.

Las ecuaciones para estimar el contenido de carbono en forma original (Ecuación 3) y linealizada (Ecuación 4) son las siguientes:

$$C = 0.0041 * DAP^{3.2034} \quad (3)$$

$$\ln C = -5.4878 + 3.2034 * \ln(DAP) \quad (4)$$

En ambas ecuaciones;

B: Biomasa seca (kg)

DAP: Diámetro a Altura del Pecho (cm)

ln: Logaritmo natural en base “e”

Las ecuaciones alométricas para estimar captura de CO₂ que más se ajusta a la especie en estudio *Eucalyptus torelliana* se determinaron en el programa Excel, mediante regresión, estos modelos fueron expresados en función al DAP, teniendo un “R²” de 0.9875.

3.2. Discusiones

La cantidad de biomasa arbórea acumulada en estas plantaciones aumenta a medida que aumenta la edad de la masa y el área basimétrica. Similares resultados se han obtenido para otras especies del mismo género (O’Connell & Menagé 1982; Brañas et al. 2000). La producción anual de biomasa aérea seca no varía excesivamente en las parcelas estudiadas, con valores que oscilan entre 10,2 y 13 Mg ha⁻¹ año⁻¹, aspecto que refleja las escasas diferencias en cuanto a calidad de estación. La masa de Meis manifiesta un comportamiento distinto, con producciones de 17,7 Mg ha⁻¹ año⁻¹, bastante superiores al resto de casos, aunque la diferencia de edad entre esta parcela y las restantes es muy grande (24 años frente a 13-18 años, respectivamente).

Los resultados obtenidos en la investigación indican que se tenido 28.06 mg/ha por año, similar a lo obtenido en otros estudios con diferentes especies del género *Eucalyptus* llevados a cabo en Australia, Portugal y España se han registrado valores de acumulación de biomasa arbórea anual que oscilan entre los 13 (Birk & Turner 1992; Cortez & Madeira 1998) y los 19 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Spangenberg et al. 1996; Brañas et al. 2000). En esos mismos estudios los valores para las fracciones no maderables (corteza, ramas y hojas) oscilaron entre 3 y 6 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

En la ecuación (2) una gran variedad de relaciones dimensionales es reducidas a una línea recta ajustada por la ecuación doble logarítmica; además son ampliamente consistentes para distintas formas de crecimiento (Schlegel *et al.*, 2001).

Gayoso *et al.* (2002) afirman que la preferencia por este modelo se debe a que expresa una proporcionalidad de los incrementos relativos entre dos componentes del árbol, y además es ampliamente consistente para distintas formas de crecimiento.

Prado *et al.* (1987), citado por Garcinuño (1995), señalan que lo ideal para realizar análisis de regresión es tener una muestra promedio con 30 o más individuos. Para determinar la biomasa es muy frecuente el uso de funciones alométricas cuando se ha obtenido el peso por componente o árbol total el cual se relaciona con algunas variables de estado del árbol de simple determinación. Estas funciones tienen mucha aplicación en el campo forestal, por cuanto presentan gran flexibilidad en su uso, siendo las variables más usadas el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón (Dat), altura total (Ht) y diferentes combinaciones de ellas.

En general, la biomasa aérea de las diez especies seleccionadas se concentró en hojas (6%), ramas (54%) y fustes (40%). Estas observaciones se aproximan a otras estimaciones realizadas en otros ecosistemas, Hooda et al, (1993) encontraron que la biomasa en 6 especies de uso múltiple de regiones áridas y semiáridas de la India estuvo repartida en fustes (46%), en ramas (26%), en follaje (10%) y en el sistema radicular (18%). Prado et al, (1990) encontraron que la biomasa de *Eucalyptus globulus* se concentra en las hojas (5.5%), en el fuste (70.7%), en las ramas (13.6%) y en la corteza (10.2%). Contreras y Návar (1999) observaron que el volumen en varias especies de pináceas que se distribuyen en La Sierra Madre Occidental que los fustes,

ramas y tocones presentan el 83, 15 y 2%, respectivamente. Al igual que se ha encontrado en el presente estudio.

CONCLUSIONES

- De la etapa de campo y los cálculos respectivos se logró obtener lo siguiente: 67.96 mg/ha, en las ramas con un 8.17 mg/ha y en las hojas es de 8.06 mg/ha; en consecuencia, se ha obtenido un promedio total de 28.06 mg/ha de biomasa en las partes en estudio del *Eucalyptus torelliana*, siendo la muestra de 10 árboles.
- El inventario de carbono se realizó utilizando parcelas cuadradas concéntricas. El total de carbono estimado tiene un rango de variabilidad de 137.05 tC/ha, que incluye biomasa arriba del suelo 77.6 tC/ha (Árboles y maleza), biomasa abajo del suelo 21.64 tC/ha, hojarasca 4.99 tC/ha y suelos 37.39 tC/ha.
- Se logró determinar las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y captura de CO₂ que más se ajuste a la especie *Eucalyptus torelliana* utilizando el programa Excel, donde teniendo los datos de biomasa total y captura de CO₂ por árbol, se realizó la línea de tendencia donde se obtuvo un modelo matemático, mediante regresión lineal y obteniendo un coeficiente de determinación “R²” próximo a 1, obteniendo las siguientes ecuaciones alométricas;

Las ecuaciones determinadas para estimar la biomasa de *Eucalyptus torelliana* queda expresada con el modelo original (Ecuación 1) y con el modelo linealizado (Ecuación 2):

$$B = 0.008 * DN^{3.203} \quad (1)$$

$$\ln(B) = -4.795 + 3.203 * \ln(DN) \quad (2)$$

- En ambas ecuaciones; B: Biomasa seca (kg)
- DN: Diámetro normal (cm)
- ln: Logaritmo natural en base “e”

Las ecuaciones para estimar el contenido de carbono en forma original (Ecuación 3) y linealizada (Ecuación 4) son las siguientes:

$$C = 0.006 * DN^{3.106} \quad (3)$$

$$\ln(C) = -4.897 + 3.106 * \ln(DN) \quad (4)$$

En ambas ecuaciones;

B: Biomasa seca (kg)

DN: Diámetro normal (cm)

In: Logaritmo natural en base “e”

RECOMENDACIONES

- El Gobierno central debe desarrollar políticas públicas, sectoriales y estrategias apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques como medida para reducir las emisiones de GEI y poder incrementar la captura de carbono.
- El gobierno mediante la reciente creación del Ministerio del Ambiente debe poner en práctica el pago por servicios ambientales para aquellos productores que manejen diversos tipos de ecosistemas en sus predios a través del establecimiento de Sistemas Agroforestales (SAF), reforestación y conservación de bosques que a la vez secuestren y almacenen carbono.
- Al Ministerio de Agricultura, al Ministerio de Medio Ambiente y a todas las autoridades competentes de la Región San Martín, difundir sobre la importancia que tiene la concentración de carbono almacenado y su efecto en el medio ambiente.
- Realizar estudios comparativos en diferentes zonas de vida evaluando diferentes especies agrícolas y forestales que permitan elaborar una propuesta para incentivar sistemas agroforestales en la Amazonía, con énfasis en la captura de carbono.
- Continuar con este tipo de investigación, evaluando Sistemas de Uso de Tierras (SUT) de diferentes edades, para determinar la dinámica real del carbono en la biomasa vegetal y en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J., A., Ricse, C. Palm. (1 998). *Informe de discusiones Proyecto ASB-Carbono en sistemas de uso de la tierra; documento de circulación interna*. Yurimaguas, Loreto, Perú. 2 p.
- Alegre, J., L. Arévalo y A. Ricse. En prensa. Comunicación personal. *Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana*.
- Arévalo, L., Alegre, J., Palm, C. 2003. *Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú*. INIA.
- BALDOCEDA A., R. 1 993. *Diagramas bioclimáticos de la zona de Pucallpa y Atalaya*. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento Académico de Conservación y Medio Ambiente. Pucallpa, Perú. 21 p.
- BARBARÁN G., J. 1 998. *Determinación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en la zona de Campo Verde*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Ucayali, Perú. 54 p.
- BENJAMÍN, J., MASERA, O. 2001. *Captura de carbono ante el cambio climático*. Revista madera y bosques.
- BIRK, E.M. & TURNER, J. (1992). *Response of flooded gum (Eucalyptus grandis) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantations and native forest*. Forest Ecology and Management 47: 1-28.
- BRAÑAS, J., GONZÁLEZ-RÍO, F. & MERINO, A. (2000). *Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de Eucalyptus globulus del Noroeste de la Península Ibérica*. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 9: 316-335.
- BROWN, S. 1996. *Influencia de los bosques*. Revista Unasylya. Volumen 47. No. 185.
- CATPO, J. 2000. *Determinación de la ecuación alométrica del Pinus patula y estimación de carbono en cerro Campanario*. Tesis Ing. Forestal. Cajamarca, Perú. UNALM.
- CEIJAS T., E. 1 999. *Almacenamiento de carbono en bosques tropicales secundarios de la zona de Alexander Von Humboldt-Pucallpa*. Proyecto de tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Ucayali, Perú. pp: 4-15.
- CIFOR, CATIE, BID, EMBRAPA, UCA. 1 998. *Protocolo de Levantamiento de vegetación en bosques secundarios*. Proyecto de investigación, Manejo de bosques secundarios en América Tropical. 16 p.

- CMNUCO. 1997. *Tercera sesión de la conferencia de las Partes, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - Kyoto '97*. Carpeta de Prensa. Oficina de Información sobre las Convenciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente para la Secretaría del Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 17 p.
- CORTEZ, N. & MADEIRA, M. (1998). *The effect of Eucalyptus globulus plantations on soil nutrient status*. XVI Congreso Mundial de la Ciencia del suelo. Montpellier, Francia.
- DÍAZ, R., ACOSTA, M., CARRILLO, F., BUENDÍA, E., FLORES, E., ETCHEVERS, J. 2007. *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Pinus patula Schl. et Cham. Madera y Bosques*.
- FAO (1999). *Desafíos Y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud Del Protocolo De Kyoto*.
- GARCINUÑO, J. 1995. *Biomasa aérea en plantaciones jóvenes de Eucalyptus globulus (Lab) en la Costa de Valdivia*. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile. 76 p.
- GAYOSO, J., GUERRA, J., ALARCÓN, D. 2002, *Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas*, documento, 06 jul. 2008)
- GAYOSO, J., SCHLEGEL, B. 2001. *Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono*. UACH – Chile. 17p.
- GAYOSO J. (2006). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile*. IN Revista Forestal Iberoamericana Vol 1, Nº 1. Universidad Austral de Chile.
- HOODA, M. S., R. BAHADUR AND K. S BANGARWA. 1993. *Growth and biomass yield of six multipurpose trees of arid and semiarid India. Nitrogen Fixing Tree Res. Reports*. 11:8-9.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers. This summary, approved in detail at IPCC Plenary XVIII* (Wembley, United Kingdom, 24 - 29 September. 34 p.
- IPCC. 1995. *Segunda evaluación, Cambio Climático 1995*. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de Meteorología. 71 p.

- IUCC, PNUMA. 1995. *Para comprender el cambio climático: guía elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas*. Oficina de Información sobre el Cambio Climático. Oficina Suiza del Medio Ambiente de Bosques y Paisajes. Chatelaine, Suiza. 20 p.
- JANDL R. 2001. *Medición de Tendencias en el Tiempo del Almacenamiento de Carbono del Suelo*. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia Chile.
- JANDL R. 2006. *Secuestro de carbono en Bosques – El Papel del suelo*, Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1 N° 1. IUFRO. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria.
- KRISHNAMURHTY, L. Y M. AVILA. 1999. *Agroforestería Básica*. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México D.F., México. pp: 29-36.
- LLERENA, C.A. 1991. *Contaminación atmosférica, efecto invernadero y cambios climáticos, sus impactos forestales*. Revista Forestal del Perú. Vol. 18(2).
- LÓPEZ M., A. 1998. *Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo*. Tesis de Maestría. Escuela de posgrado, Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación, CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp: 3-15.
- LOPERA, G., GUTIÉRREZ, V. 2000. *Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de Pinus patula como sumidero de CO₂*. Tesis ingeniero forestal. Universidad Nacional de Colombia.
- NAIR, P.K.R. 1997. *Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo*. Chapingo, México. 543 p.
- O'CONNELL, A.M. & MENAGÉ, P.M.A. (1982). *Litterfall and nutrient cycling in karri (Eucalyptus diversicolor F. Muell.) forest in relation to stand age*. Australian Journal of Ecology 7: 49-62.
- ONERN. 1978. *Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Pucallpa - Abujao*. República del Perú, Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. pp: 35-55.
- ORDÓÑEZ J. Y MASERA O. 2001. *Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques* 7(1), 2001:3-12. Veracruz, México.

- PINEDA L., ORTIZ C. Y SÁNCHEZ V. 2005. *Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz*. Madera y Bosques 11(2):3-14. Veracruz, México.
- SCHLEGEL, B., GAYOSO, J., GUERRA, J. 2001. *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. UACH – Chile.
- SEGURA M., M. 1997. *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costaricensis, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica*. Tesis profesional. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambientales. Heredia, Costa Rica. 125 p.
- SENAYAKE R. GAMBOA L. 2003. *Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales*. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga: Sri Lanka y Ecuador. Santa María Huatulco, México, 9 -15 de noviembre 2003. 41 p.
- VENEGAS S. 2003. *Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada*. Universidad Centroamérica, facultad de ciencia, Tecnología y ambiente. Managua – Nicaragua.
- Taller Internacional de Sistemas Agroforestales CORPOICA, 31 de julio a 3 de agosto. Santa Fe de Bogota, Colombia. 15 p.

ANEXOS

ANEXO 01:

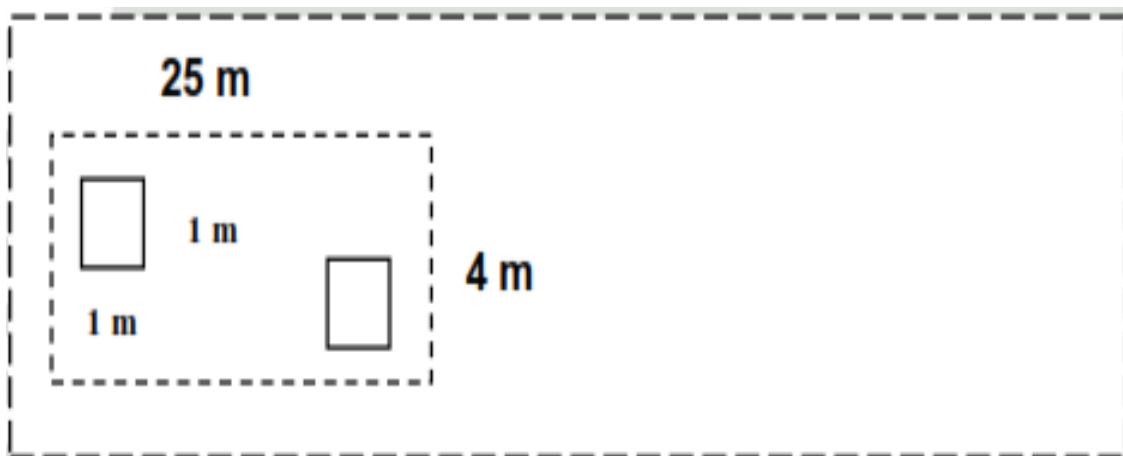
MAPA DE UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

[illegible]

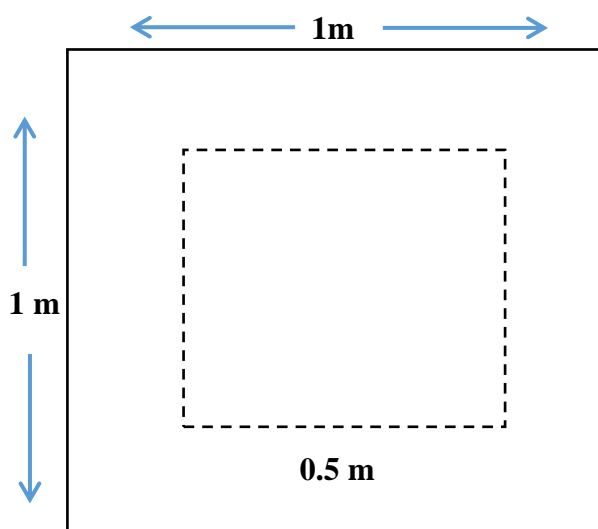
* LA ASIGNACION DEL CODIGO UNICO CATASTRAL (CUC) SE IMPLEMENTARA EN COORDINACION CON EL SISTEMA NACIONAL INTEGRADO DE CATASTRO
Nota : Para su presentación al Registro de Predios, en los trámites de modificación y/o inmatriculación, se adjunta el archivo digital del predio.

ANEXO 02:
DETALLE DE BLOQUE Y TRANSECTO DE EVALUACIÓN

Diseño de parcelas de evaluación de biomasa por estrato



Para evaluación de biomasa en hojarasca



ANEXO 03:
PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N° 01: Muestreo de Hojarasca.

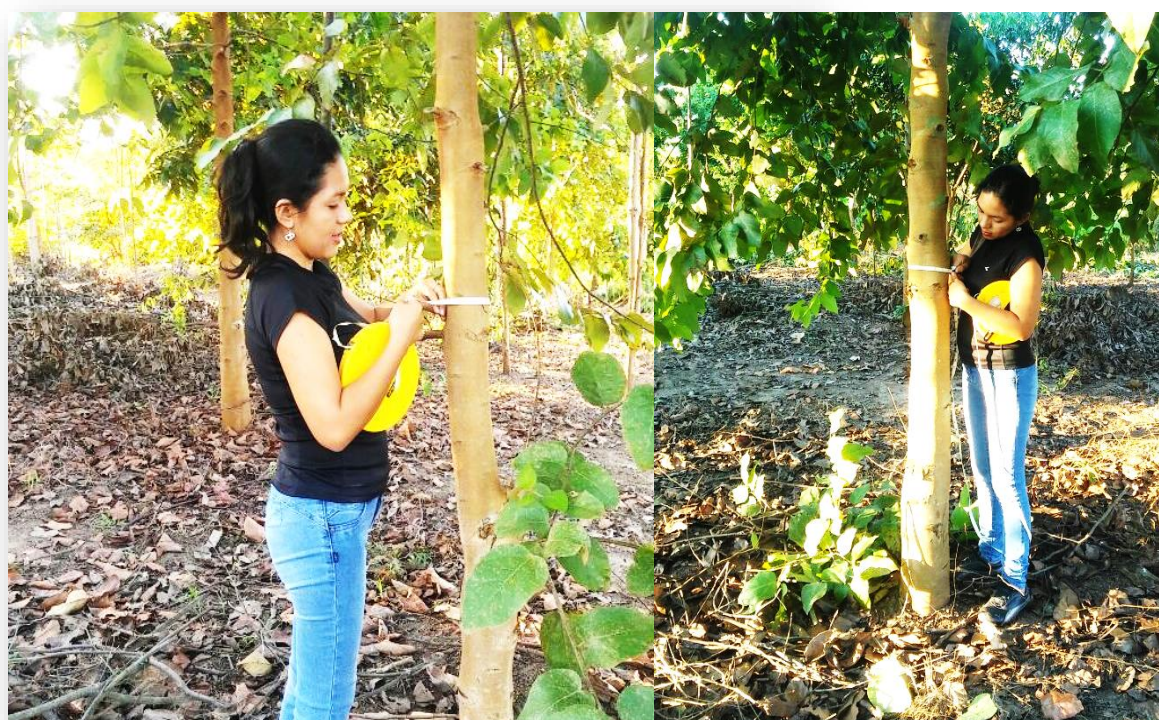


Foto N° 02: Determinación del atura para determinar el DAP.



Foto N° 03: Determinación del atura para determinar el DAP de plantas de 2 años y 6 meses.